

# 关于温控模块性能指标的解释

本文档主要介绍了我司温控模块数据表中的温度指标的含义，尤其是分辨率、稳定性、精度等指标的含义，希望对用户了解温控模块有帮助。

注 1：本文的定义和解释是为了尽量简化指标描述，方便理解，可能跟某些场合的定义解释不相同。

注 2：温控是一个系统性的工作，温控效果不仅取决于温控模块，还受其它多方面因素的影响，建议用户通过实验验证温控模块的性能。

关于温控模块性能指标的解释.....	1
一、温控流程.....	2
二、精度、稳定性.....	3
1 指标定义.....	3
2 优先考虑稳定性.....	4
三、影响温度分辨率的因素.....	5
1 影响分辨率的因素.....	5
2 测量工具影响分辨率高低.....	5
3 参考电阻阻值影响高分辨率区间位置.....	5
4 传感器阻值影响高分辨率区间位置.....	6
5 传感器灵敏度影响分辨率高低.....	7
四、分辨率影响稳定性和精度.....	8
1 分辨率影响稳定性.....	8
2 分辨率指标测量.....	8
3 分辨率影响精度.....	9
六、传感器的指标.....	10
1 热敏电阻的精度.....	10
2 铂电阻的精度.....	10
3 热敏电阻计算精度.....	11
4 传感器的漂移.....	11

## 一、温控流程

温控流程	涉及因素	指标影响					我司温控模块采用的优化措施
		分辨率	初始精度	相对稳定性	短期绝对稳定性	长期绝对稳定性	
测量传感器电阻	传感器	√传感器灵敏度	√传感器初始精度	√分辨率会影响相对稳定性		√传感器老化漂移	支持用户更换更高性能的传感器  温控模块采用高性能的测量工具和参考电阻。标准版优于简化版温控模块。  在数据手册中，用温控模块的初始精度、温漂、老化漂移合并标注测量工具与参考电阻的总性能。
	测量工具	√测量工具分辨率	√测量工具初始精度		√测量工具温漂	√测量工具老化漂移	
	参考电阻	√与传感器电阻比值	√参考电阻初始精度		√参考电阻温漂	√参考电阻老化漂移	
计算温度	传感器温度阻值公式		√公式拟合的误差				支持高精度的 S&H 计算公式
PID 计算并输出	PID 参数			√PID 的控制稳定性			提供 PID 参数自动整定功能

注意 1：本表只列出了主要的影响关系。

注意 2：数据手册中列出的指标，假设使用理想的传感器。

注意 3：温度变化使得传感器阻值变化，温控模块把传感器和一个内置的高精度参考电阻做对比，测量出比值，根据参考电阻计算出传感器的阻值，通过传感器的阻值温度公式间接算出传感器温度，然后通过 PID 计算出适合的输出功率，使半导体制冷片的制冷量发生变化，最终控制被控物体的温度。

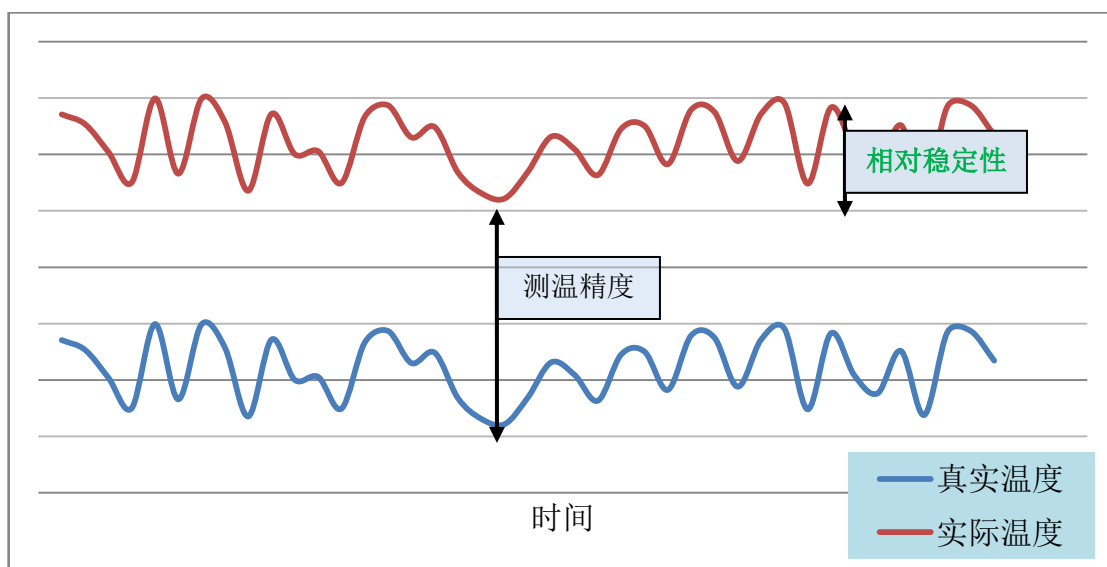
## 二、精度、稳定性

### 1 指标定义

**实际温度**是指温控模块显示的温度读数；**真实温度**是指温控目标的绝对真正温度。

解释：

由于测温精度的误差影响，温控模块显示的温度读数和真实温度并不相等。



**相对稳定性**，温控模块实际温度读数的跳动范围。

解释：

即在温控温度曲线上看到的实际温度波动范围。

温控模块的参数设置（主要是 PID 参数）、环境温度变化、被控物体的发热量变化，等等因素都会造成波动变化。

**短期绝对稳定性** = 温控模块温漂 + **相对稳定性**

解释：短期内，被控物体的真实温度的波动范围。

温控模块温漂是温控器自身温度变化造成的短期测量误差；当温控模块自身温度回到原值时，温漂造成的误差也回到 0。它包含测量工具的温漂和参考电阻的温漂。

温控模块工作过程中会发热，导致温控模块内部器件的精度发生变化，最终使得测温的精度发生变化；此时，即使物体的真实温度并没有变化，温控模块显示的实际温度读数却会发生改变。

举例，物体真实温度 24.5 度，测温精度 0.3 度，温控模块读数则为 24.8 度，此时开启

温控器把物体控制在读数为 24.5 度时，真实温度为 24.2 度；当温控模块发热后，导致温漂 0.2 度，如果读数为 24.5 度时，物体真实温度为 24 度。

温控模块本身无法显示温漂的大小，需要第三方测量仪器来检测。

**长期绝对稳定性** = 温控模块老化漂移 + 传感器老化漂移 + **[短期绝对稳定性]**

解释：长时间内，被控物体的真实温度的波动范围。

老化漂移是随着器件服役时间增加而缓慢增大的误差。温控模块和传感器都有老化的漂移。温控模块的老化漂移包含测量工具和参考电阻的老化漂移。

温控模块本身无法显示老化漂移的大小，需要第三方测量仪器来检测。

**长期绝对精度** = 温控模块初始精度 + 传感器初始精度 + **[长期绝对稳定性]**

解释：

长期绝对精度，即温控模块的真实温度的长期精度。

温控模块的初始精度包含测量工具和参考电阻两者的初始精度。

温控模块本身无法显示初始精度的大小，需要第三方测量仪器来检测。

## 2 优先考虑稳定性

优先考虑稳定性，而不是精度。

1) 高精度的仪表成本不菲，仅测温的成本可能就会超过温控模块的价格，甚至仅传感器本身就超过温控器的价格。

2) 很多时候我们并不关心物体的真实温度是多少，只希望物体稳定工作在性能表现最好的温度点，这其实是关心温控系统的短期绝对稳定性或长期绝对稳定性。

如果确定关心绝对精度，那么部分误差可以定期通过第三方高精度仪表校正。

可校正误差 = 温控模块初始精度 + 温控模块老化漂移 + 传感器初始精度 + 传感器老化漂移。

## 三、影响温度分辨率的因素

### 1 影响分辨率的因素

温度变化使得传感器阻值变化，温控模块把传感器和一个内置的高精度参考电阻对比，测量出传感器的阻值，从而间接推算出温度。

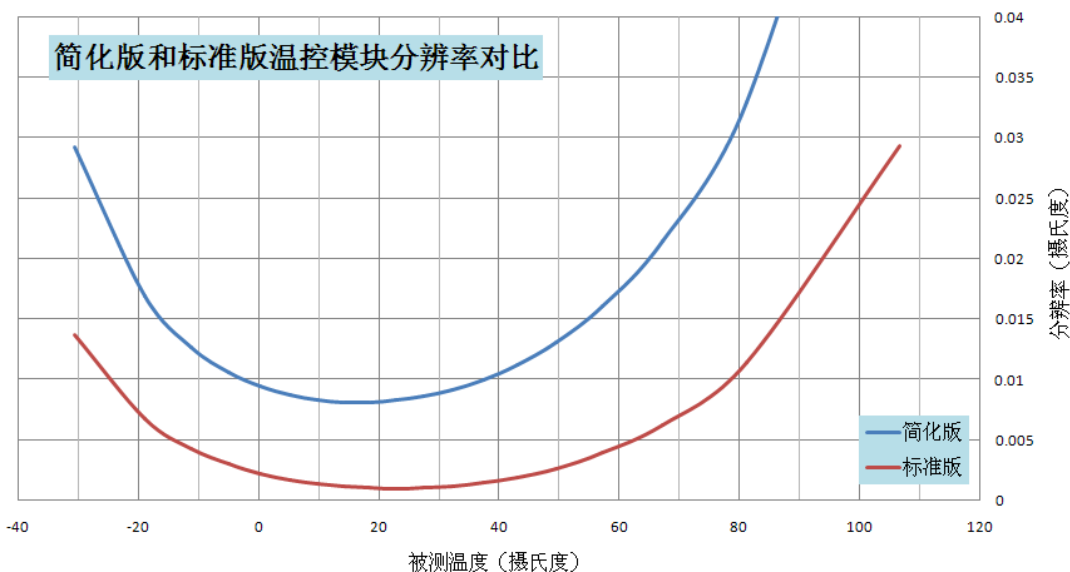
因此，三个因素主要影响了温控模块的分辨率：

- 1) 温控模块用于测量比值的工具的分辨率；
- 2) 传感器阻值和参考电阻的比值，两个阻值越接近，温控器测量的分辨率越高；
- 3) 传感器的灵敏度（单位温度变化引起的阻值变化）。

### 2 测量工具影响分辨率高低

标准版的测量工具的分辨率高于简化版，因此标准版的温度分辨率也高。

下图是简化版和标准版温控模块的分辨率对比（参考电阻 11k，热敏电阻 10k B=3950）。



### 3 参考电阻阻值影响高分辨率区间位置

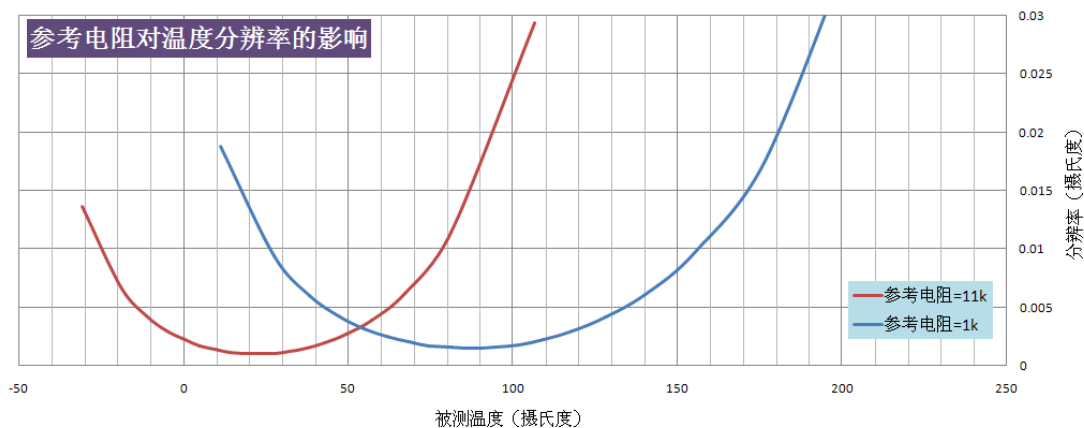
温度传感器使用两线制，即只需连接传感器正负两端的两根线到温控器。温控模块上的传感器插座是 3 针插座，目的是提供两种参考电阻供选择：

1) 1k 高精度参考电阻：连接传感器接口的 1 针和 2 针；

2) 11k 高精度参考电阻：连接传感器接口的 2 针和 3 针。

个别型号的温控模块只有两针接口，则参考电阻固定，具体值可以看它对应的数据手册。

如下图，标准版温控模块使用标配的 10k B=3950 热敏电阻时，选择参考电阻不同，分辨率曲线不同。



传感器阻值和参考电阻阻值更相近的温度，温度分辨率较高：

1) 红色曲线，使用 11k 参考电阻；传感器温度为 23 度时，阻值约为 11k，和参考电阻接近，因此 23 度附近分辨率高；

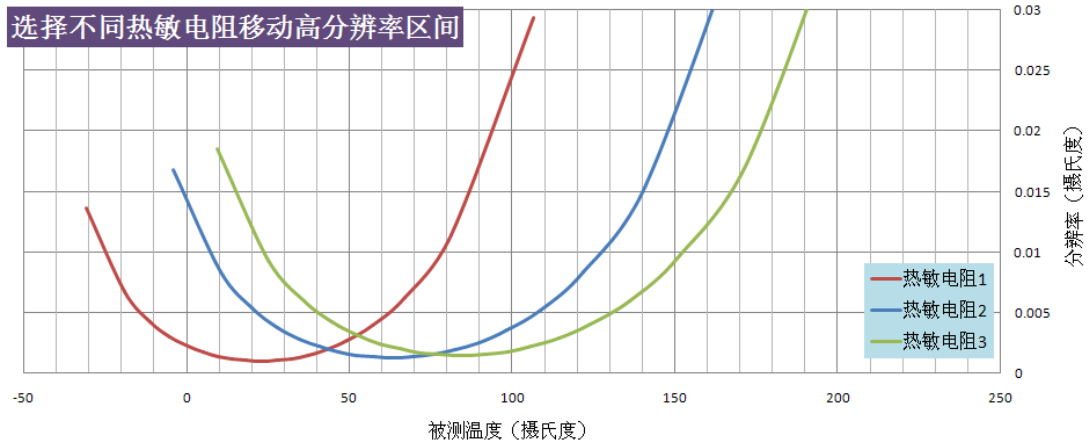
2) 蓝色曲线，使用 1k 参考电阻；传感器温度为 87 度时，阻值约为 1k，和此刻的参考电阻接近，因此 87 度附近分辨率高。

因此，用户可以根据需要的温控范围选择不同的参考电阻以获得更佳的分辨率。

#### 4 传感器阻值影响高分辨率区间位置

温控模块只能提供两种参考电阻选择，无法实现标配的 10k 热敏电阻在任意温度实现高分辨率。因此温控模块支持用户更换热敏电阻，以便在其它温度点获得高分辨率。

如下图，选择参考电阻 11k，标准版温控模块使用基准电阻(25 度时阻值) 分别为 10k、50k、100k 的 B=3950 热敏电阻时，高分辨率测温范围不一样。



我司提供一个 EXCEL 表格 (TCM 模块中热敏电阻温度分辨率.xlsx), 用户可以用它计算出不同热敏电阻使用两种参考电阻的最佳高分辨率范围。本文前述所列出的曲线图也可以在该 EXCEL 表格中看到。

## 5 传感器灵敏度影响分辨率高低

传感器的灵敏度越高, 分辨率越高。

一般情况下, 热敏电阻的灵敏度高于铂电阻。

分辨率越高, 高分辨率区间 (量程) 越窄。量程和分辨率总是存在这样的矛盾。

## 四、分辨率影响稳定性和精度

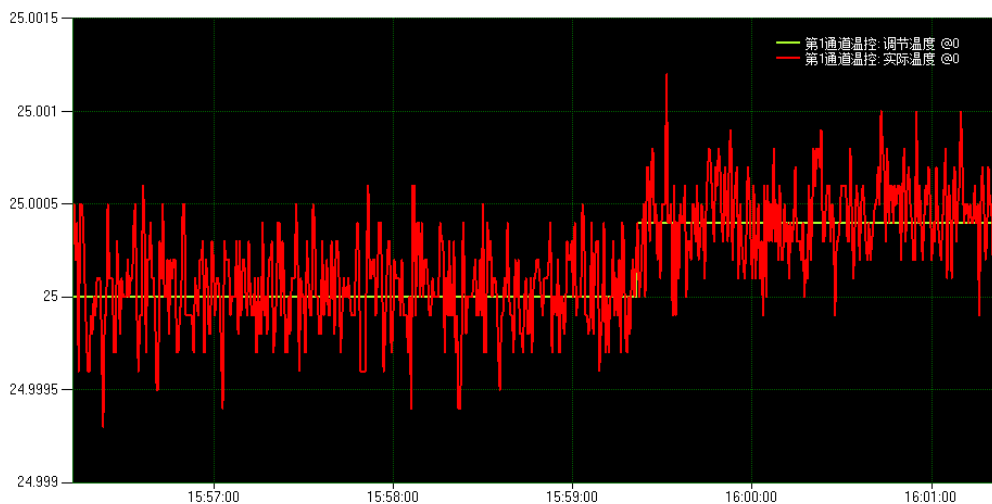
### 1 分辨率影响稳定性

分辨率反映出测量仪器的灵敏度。温控的应用中，标准定义应该是指温控模块能够反映的最小温度变化。

分辨率越高，越有利于温控系统获得更好的相对稳定性。

### 2 分辨率指标测量

下图标准版温控模块在 25 度附近的温控曲线，可以看到曲线能够反应 0.0001 摄氏度的变化。



但 0.0001 度对于用户来讲是没有意义的，因为温控曲线上的温度纹波和测量噪声之和远远大于 0.0001 度。

既然用户关心的是相对稳定性，而分辨率也会影响相对稳定性，所以我们在数据手册中标出的温度分辨率值其实是相对稳定性。

比如上图，25 度附近温控相对稳定性约为  $\pm 0.0005^{\circ}\text{C}$ ，偶尔会有值大于  $0.0005^{\circ}\text{C}$ ，于是我们提供给用户的温度分辨率曲线里，把 25 度附近的分辨率标称为  $\pm 0.001^{\circ}\text{C}$ （留一点余量）。

比如标准版的数据手册中写道： $<0.002^{\circ}\text{C}$  的分辨率范围是 5-45 $^{\circ}\text{C}$ ，它的含义其实是在 5-45 $^{\circ}\text{C}$  范围内，温控模块可以做到  $\pm 0.002^{\circ}\text{C}$  的温度读数波动。



### 3 分辨率影响精度

分辨率变低，类似于直尺的刻度变宽，肯定会影响到测量的精度。

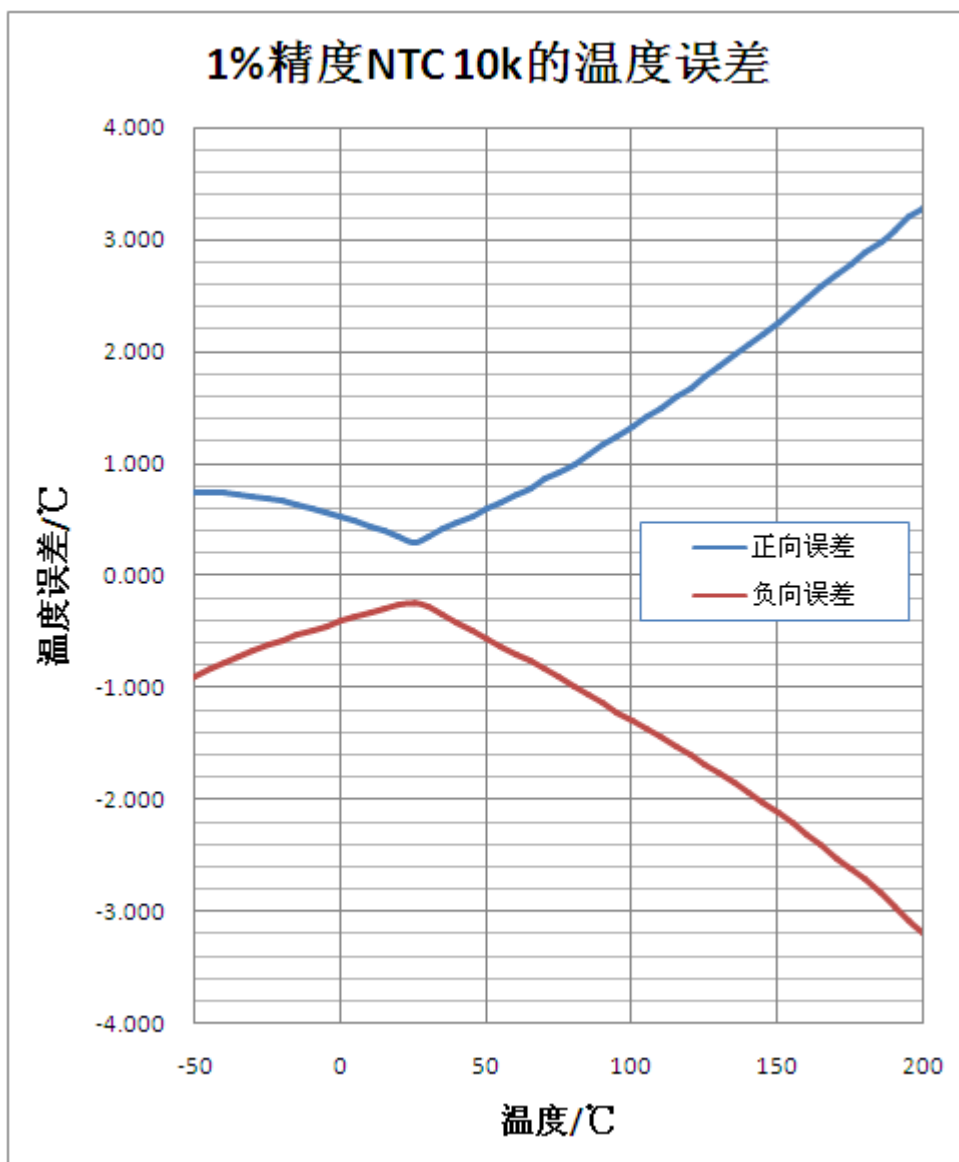
温控模块数据手册中，使用热敏电阻的情况下，标注了温控模块的初始测温精度、温漂、老化漂移，这些参数都是指温控模块的最佳分辨率范围（标准版的 $<0.002^{\circ}\text{C}$ 的分辨率范围，简化版的 $<0.01^{\circ}\text{C}$ 的分辨率范围）内的指标，超过该范围这些指标都会略微变差。

## 六、传感器的指标

### 1 热敏电阻的精度

NTC 热敏电阻制造出来后，其阻值和 Beta 值并非和标称值绝对一致，而是有误差。

比如，比较常见的 1%精度（25 度的阻值精度 1%，B 值精度 1%）的热敏电阻的误差大致如下图所示（注意：并非每个 1%的热敏电阻都会导致如此大的误差，这是极端情况）。



### 2 铂电阻的精度

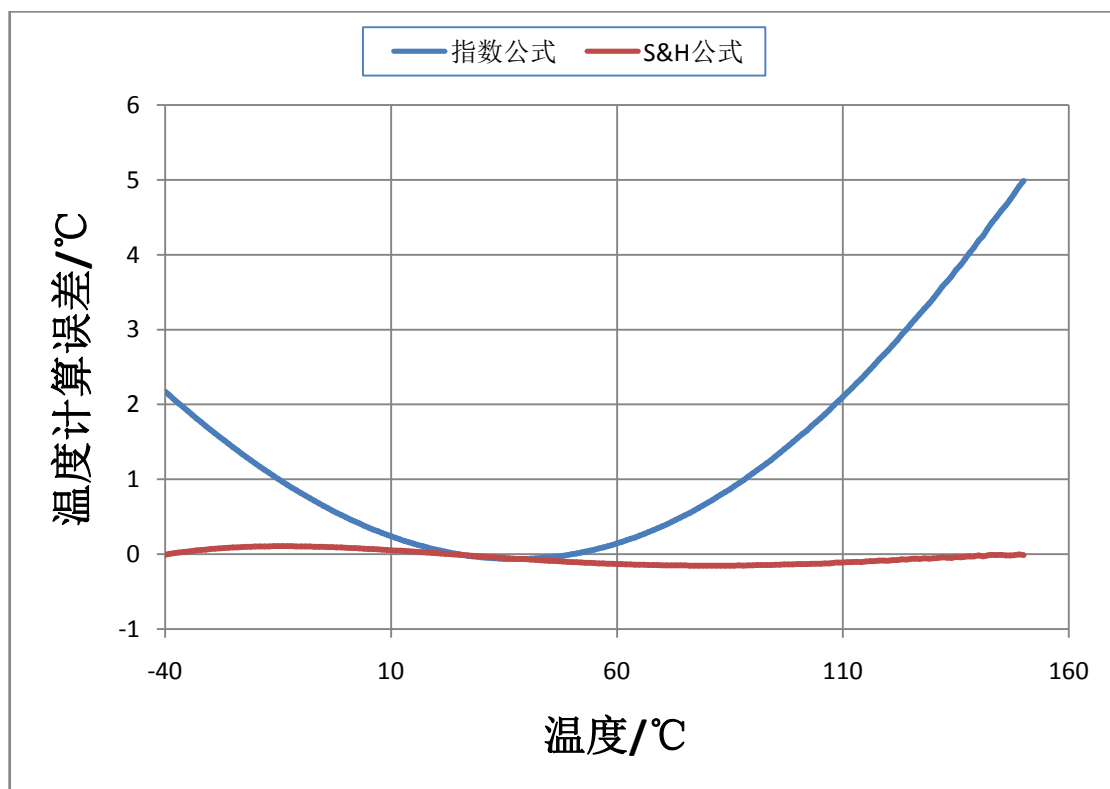
铂电阻有标准，要求制造出来的电阻的误差必须在一定的范围内。不同等级的铂电阻的误差如下表所示。

温度 °C	温度误差 °C		
	1/3DIN B 级	A 级	B 级
-100	0.27	0.35	0.8
0	0.10	0.15	0.3
100	0.27	0.35	0.8
200	0.44	0.55	1.3

### 3 热敏电阻计算精度

温控器提供热敏电阻的两种计算公式：指数公式和 S&H 公式。S&H 公式具有更好的精度。

注：温控模块标配热敏电阻，S&H 公式的 3 个系数是根据 -40°C、25°C、150°C 共 3 个点拟合而来，分别为 1.1459E-03，2.3229E-04，8.7963E-08。



### 4 传感器的漂移

温度传感器阻值可随时间漂移，这取决于材料，结构和使用的包装。

常温的应用中，NTC 热敏电阻的漂移量较小。温度越高，漂移越大。气密玻封的热敏电阻电阻漂移小于环氧封装电阻，因此如果是较高温度应用，建议选择玻封热敏电阻。